

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

Исследование тензодатчиков

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения специальности 220301.65
«Автоматизация технологических процессов и
производств (в машиностроении)»
и направлений 220400.62 «Управление в технических системах» и
220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Курган 2013

Кафедра автоматизации производственных процессов

Дисциплина: «Технические измерения и приборы»

Составила: ст. преподаватель О.В. Дмитриева

Утверждено на заседании кафедры «27» ноября 2013 г.

Рекомендовано методическим советом университета «27» ноября 2013 г.

Содержание

Введение	4
1. Конструкция и принцип действия тензометрических преобразователей.....	4
2. Лабораторный стенд.....	7
3. Порядок проведения работы	11
4. Контрольные вопросы.....	11
Список литературы.....	11

Введение

Работа преследует цель ознакомить студентов с принципом действия и устройством тензодатчиков, с различными вариантами включения их в измерительные схемы.

Тензодатчик – преобразователь измеряемой упругой деформации твердых тел в электрический сигнал. Наиболее распространенными являются тензодатчики сопротивления (проволочные и фольговые), преобразующие входной параметр деформации в изменение электрического сопротивления.

Тензометрические преобразователи являются параметрическими преобразователями.

1. Конструкция и принцип действия тензометрических преобразователей

Устройство типового проволочного тензодатчика изображено на рисунке 1. На полоску прочной бумаги наклеивается уложенная зигзагообразная тонкая проволока. К концам проволоки присоединяются (пайкой или сваркой) выводные проводки из медной фольги, служащие для включения преобразователя в измерительную цепь. Часто сверху проволоки также приклеивается бумага.

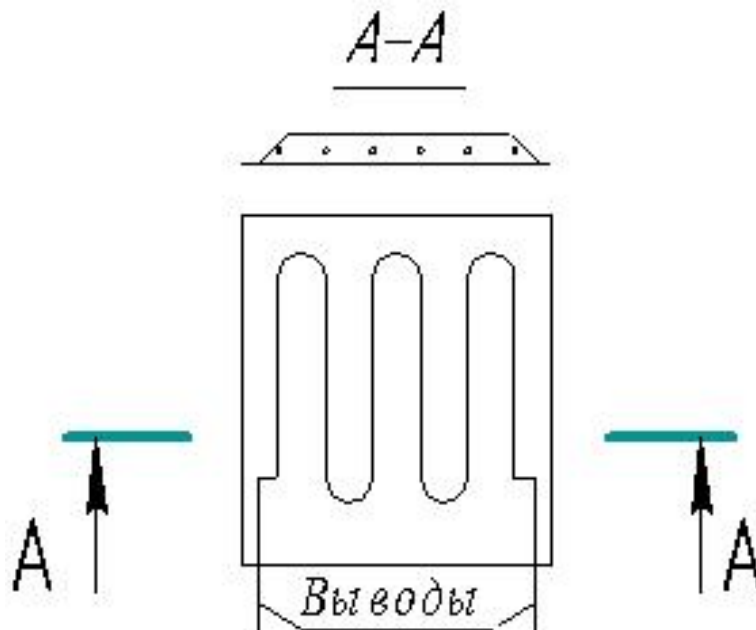


Рис. 1. Типовой проволочный тензодатчик

Предусматриваются формы решетки, удобные для решения специальных задач, например, для измерения трех компонент деформации (рис.2), деформации в мембранах и т.д.

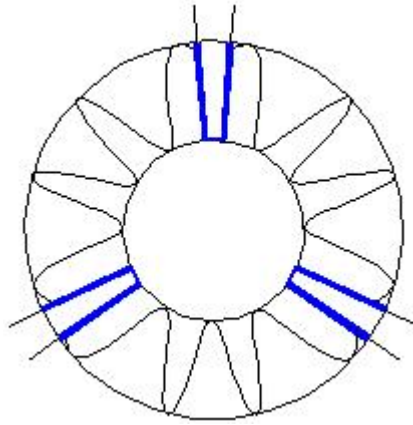


Рис.2. Специальный тензодатчик для измерения трех компонент деформации

Диаметр провода решетки 0,015-0,05 мм, минимальная база датчика 2 мм; номинальное сопротивление – 50...1000 Ом. Решетки фольговых датчиков изготавливаются травлением из фольги толщиной 0,004-0,02 мм; минимальная база – 0,4 мм; номинальное сопротивление 50...1000 Ом.

Наклеивание датчиков на исследуемую деталь производится весьма тщательно специальными сортами клея, которые обеспечивают точную передачу на датчик всех изменений деформации объекта.

Действие тензодатчика основано на свойстве металлической проволоки или (фольги) под воздействием деформации (растяжения или сжатия) изменять свое электрическое сопротивление. Изменение сопротивления датчика определяется следующим выражением:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta P}{P} - \frac{\Delta S}{S}, \quad (1)$$

где R - сопротивление датчика, l - длина проволоки датчика, S - сечение проволоки датчика, P - удельное сопротивление материала датчика.

Чувствительность тензодатчика к деформации определяется отношением:

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}} = 1 + 2\mu + \frac{\frac{\Delta P}{P}}{\frac{\Delta l}{l}}, \quad (2)$$

где K - коэффициент тензочувствительности, μ - коэффициент Пуассона для материала проволоки.

После введения обозначений: $\varepsilon = \frac{\Delta R}{R}$ и $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$ формула (2) приобретает следующий вид:

$$K = \frac{\varepsilon}{\lambda} = 1 + 2\mu + \frac{\frac{\Delta P}{P}}{\lambda}. \quad (3)$$

При изготовлении тензодатчиков учитывают такие основные требования к материалу преобразователя:

1. Возможно большее значение относительной чувствительности K .
2. Возможно меньший температурный коэффициент сопротивления.
3. Большое удельное сопротивление материала.
4. Возможно большая механическая прочность.

Для тензодатчиков, применяемых в промышленности, обычно коэффициент чувствительности $K = 1,7 \dots 2,9$.

Для измерений при комнатных температурах решетки изготавливаются из константана. При повышенных температурах используются константан, сплавы на основе никеля и молибдена, легированный нихром и т.д.

При измерениях деформаций в условиях изменяющейся температуры должны вводиться поправки на температуру или применяться схемная компенсация. Автоматическое введение поправок на температуру может быть получено включением аналогичного датчика в одно из смежных плеч измерительной схемы или при введении в конструкцию датчика дополнительных петель из проволоки, имеющих обратный (по знаку) температурный коэффициент, включенных последовательно с тензодатчиком.

Так как максимальное значение относительного удлинения λ в пределах упругой деформации не превышает $2,5 \cdot 10^{-3}$, то при $K = 1,7 \dots 2,9$ значение ε лежит в пределах $(4,25 \dots 7,25) \cdot 10^{-3}$. Следовательно, для получения достаточной точности измерения исследуемых усилий и деформаций необходимо использовать очень точные методы измерения приращений сопротивления тензодатчиков. Так, например, при измерениях исследуемых усилий с точностью до 5% от предельно допустимого в пределах упругой деформации максимального усилия, измерения сопротивления тензодатчиков приходится выполнять с точностью до 0,02%.

Для измерения сопротивления тензодатчиков применяются измерительные схемы уравновешенных и неуравновешенных мостов, работающих на постоянном и переменном токе.

Метод уравновешенного моста или нулевой метод отличается высокой точностью измерения (до 0,05%), но он пригоден только для статического или псевдостатического измерения (измерения медленно меняющихся величин) независимо от того, вручную или серводвигателем производится уравновешивание.

Метод неуравновешенного моста характеризуется значительно меньшей точностью измерения (до 1-0,5%), но он незаменим для динамического измерения. Возможно использование данного метода и для статических измерений, когда решающими являются относительная легкость и быстрота отсчета (например, при многочисленных измерениях), а требования к точности не очень высоки.

Надлежащая наклейка датчиков в различных местах исследуемой детали часто позволяет получить у разных датчиков одинаковые по величине, но различные по знаку приращения сопротивления. Это обстоятельство дает возможность включать в измерительные схемы по несколько датчиков. В

уравновешенных мостах обычно включается один, иногда два датчика. В неуравновешенных мостах применяются включения одного, двух и четырех датчиков, размещаемых в различных плечах, но обязательно в таком порядке, чтобы в любых смежных плечах располагались датчики с разнозначными приращениями сопротивления. С увеличением числа используемых в схеме датчиков пропорционально повышается ее чувствительность.

Эти вопросы предполагается экспериментально исследовать в данной работе.

2. Лабораторный стенд

Коэффициент тензочувствительности K зависит от свойств материала датчика, технологии его изготовления, от сорта клея и качества наклейки.

Поэтому перед непосредственным измерением исследуемых деформаций предварительно должно быть проведена тарировка датчиков.

Тарировка осуществляется на упругой балочке, закрепленной одним концом и изгибаемой за счет приложения концентрированной силы на другом конце. Датчики наклеиваются вблизи места зажима (рис.3).

Для определения искомого коэффициента K необходимо знать деформацию λ и относительное изменение сопротивления \mathcal{E} . И то, и другое определяется экспериментально.

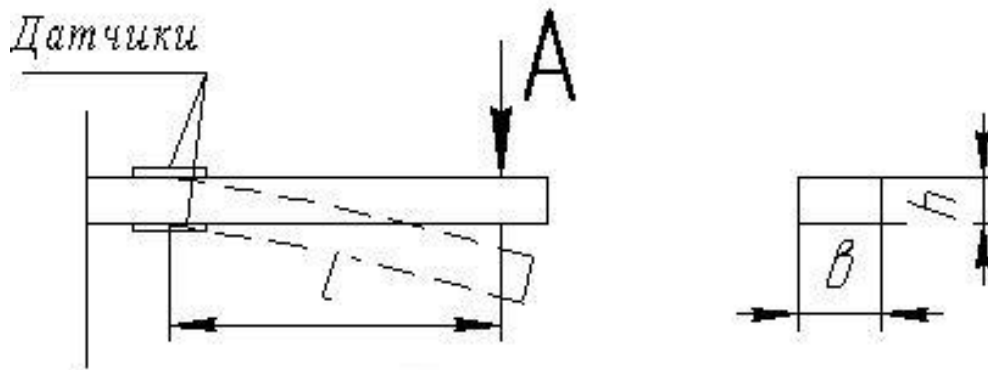


Рис. 3 Схема деформируемой упругой балочки с наклеенными тензодатчиками

Под действием силы F происходит деформация изгиба балочки, сопровождающаяся растяжением верхних волокон и сжатием нижних. При этом происходит деформация растяжения наклеенного сверху датчика и обратная деформация сжатия у датчика, наклеенного снизу.

Величина искомой относительной деформации того или другого знака, появляющаяся в таком случае, может быть оценена следующей формулой сопротивления материалов

$$\lambda = \frac{F \cdot l}{E \cdot W} = l_1 \cdot F, \quad (4)$$

где l - активная длина балочки от нагруженного конца ее до места расположения датчика, мм; E - модуль упругости, кг/мм² (для стали $2,1 \cdot 10^4$ кг/мм²); W - момент сопротивления поперечного сечения балочки, определяется по следующей формуле для прямоугольного сечения, показанного на рисунке 3.

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (5)$$

где b - ширина балочки, мм; h - высота балочки, мм.

Отсюда по известным габаритным размерам балочки и прикладываемому усилию расчетом находится искомая величина λ . Отсюда же оценивается расчетом передаточной коэффициент балочки C_l , входящий в зависимость (4).

Для оценки относительного изменения сопротивления датчика используется мостовая схема (рис.4), во все плечи которой включены тензодатчики.

При отсутствии деформации ($F = 0$) схема уравнивается. Затем к балочке прилагается усилие F , под действием которого равновесие моста нарушается.

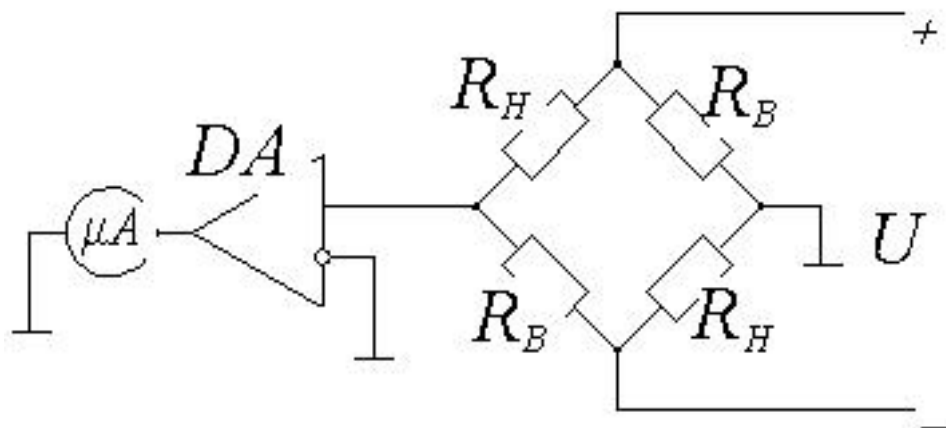


Рис.4 Схема для тарировки датчиков.

Согласно общей теории неуравновешенных мостовых схем [3,4], напряжение U_0 выходной диагонали моста при включении на выходе его устройства с весьма большим входным сопротивлением (электронный усилитель) можно представить следующим выражением (используя теорему об эквивалентном генераторе):

$$U_0 = U \frac{(R_1 + \Delta R_1)(R_4 + \Delta R_4) - (R_3 + \Delta R_3)(R_2 + \Delta R_2)}{(R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2)(R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4)}, \quad (6)$$

где U - напряжение питания моста; R_1, R_2, R_3, R_4 - сопротивления плеч мостовой схемы, Ом; $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ - в общем случае приращения сопротивлений плеч, Ом;

Отсюда могут быть получены соответствующие выражения для различных частных случаев.

Так, при условии равенства сопротивлений всех плеч ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4$) и при установке одного датчика в плечо 1, когда приращения сопротивлений всех остальных плеч равны нулю ($\Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$), имеем:

$$U_0 = U \frac{\varepsilon}{2(2 + \varepsilon)} \quad (7)$$

где ε - приращение сопротивления датчика в единицах.

При установке двух датчиков с одинаковыми по величине, но различными по знаку приращениями сопротивления в плечах 1 и 2, имеем:

$$\Delta R_1 = -\Delta R_2, \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0.$$

При подстановке этих значений (6) получаем

$$U_0 = U \frac{\varepsilon}{2} \quad (8)$$

При размещении четырех датчиков с одинаковыми по величине, но попарно различными по знаку приращениями сопротивления во всех плечах мостовой схемы, имеем

$$\Delta R_1 = \Delta R_4 = -\Delta R_2 = -\Delta R_3.$$

Подстановка этих значений в исходное выражение (6) дает:

$$U_0 = U\varepsilon \quad (9)$$

Аналогичная зависимость может быть получена и для тока выходной диагонали, если на выходе включается прибор с ограниченным сопротивлением:

$$I_{изм} = U \frac{(R_1 + \Delta R_1) \cdot (R_4 + \Delta R_4) - (R_2 + \Delta R_2) \cdot (R_3 + \Delta R_3)}{R_{изм} (R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2) \cdot (R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4) + M} \quad (10)$$

где $I_{изм}$ - ток, протекающий через измерительный прибор, А; R_1, R_2, R_3, R_4 - сопротивления плеч мостовой схемы, Ом; $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ - в общем случае приращения сопротивлений плеч, Ом; $R_{изм}$ - внутреннее сопротивление измерительного прибора.

$$M = (R_1 + \Delta R_1) \cdot (R_2 + \Delta R_2) \cdot (R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4) + (R_3 + \Delta R_3) \cdot (R_4 + \Delta R_4) \cdot (R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2)$$

Из формулы (10) могут быть получены выражения для различных частных случаев. Так, при равенстве сопротивлений всех плеч $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ и при установке одного датчика в плечо 1 (при этом $\Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$), имеем:

$$U_{изм} = U \frac{\varepsilon}{4(R_{изм} + R)} \quad (11)$$

Лабораторная установка для исследования тензодатчиков состоит из деформируемой балочки с наклеенными на нее тензодатчиками и стенда (рис.4).

Упругая балочка (рис. 3) закреплена одним концом в жесткой опоре, а другой свободный конец её может быть повергнут действию сосредоточенной нагрузки, создаваемой вращением упорного винта, ввинчиваемого в стойку. Поступательное перемещение винта создает изгибающий момент, действующий на балочку, и определяет величину прогиба последней. В пределах упругой деформации, подчиняющейся закону Гука, величина прогиба пропорциональна действующему усилию.

Один оборот винта соответствует усилию 5 Н., приложенному к концу балочки.

Вблизи места закрепления балочки на неё наклеены четыре тензодатчика (два – сверху, два – снизу). Верхние датчики под воздействием нагрузки испытывают деформацию растяжения, нижние – деформацию сжатия той же величины.

Номинальное паспортное значение сопротивления каждого датчика составляет 200 Ом.

Габаритные размеры балочки, необходимые для оценки по формулам (4) и (5) относительной деформации λ : $l = 190$ мм - расстояние от точки приложения нагрузки до середины наклеенных тензодатчиков; $b = 29$ мм - ширина балочки; $h = 2$ мм - толщина балочки.

Стенд содержит следующие элементы: источник питания, напряжение на выходе, которое регулируется двумя ручками «грубо» и «точно», вольтметра типа М4257, усилителя с переменным коэффициентом усиления и микроамперметра типа М 95. Тумблер служит для включения стенда.

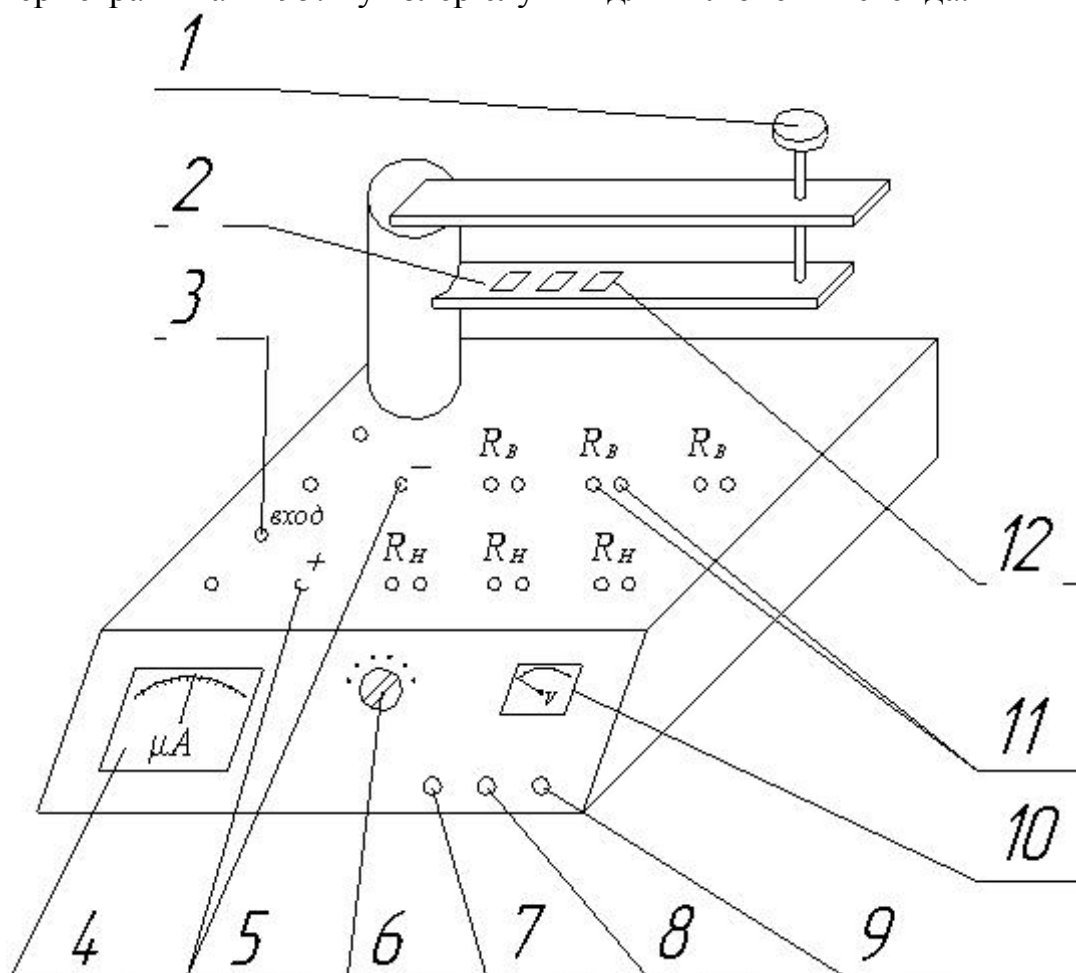


Рис.4. Лабораторный стенд: 1 - нагрузочный винт; 2 - нагружаемая балочка; 3 - вход амперметра; 4 – микроамперметр; 5 - клеммы питания; 6 - ручка регулирования коэффициента усиления усилителя; 7 - ручка регулирования напряжения питания; 8 – тумблер; 9 - сигнальная лампочка; 10 – вольтметр; 11 - клеммы подключения датчиков; 12 - тензодатчики.

3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой и относящимися к ней измерительными приборами и оборудованием.

2. Исследовать работу схемы при включении датчиков во все плечи моста. На балочку дается постепенно возрастающая нагрузка и по точкам снимается экспериментальная кривая $I_{\text{изм}} = f(F)$. Для выявления наличия гистерезиса опыт проводится при увеличении F от нуля до максимума и от максимума до нуля.

С помощью известных передаточных коэффициентов балочки C_l , тензодатчика K (принять равным 2) и схемы (определить самостоятельно подобно формуле 11) определяется результирующий передаточный коэффициент χ всего измерительного устройства, входящий в зависимость $I_{\text{изм}} = \chi \cdot F$ и с его помощью строится расчетная кривая для тех же условий.

Для удобства расчетная и экспериментальная кривые строятся на одном графике. На основании полученных кривых и их взаимного сопоставления делаются выводы о чувствительности и линейности измерительного тензометрического устройства.

4. Контрольные вопросы

1. Что изменится в режиме работы тензодатчика, если он будет наклеен на балочке не вблизи закрепленного конца её, а, скажем, посередине показанной на рисунке 3 длины l ?

2. Каким образом исключают влияние температуры на выходную величину тензометрического моста? Приведите примеры термокомпенсации.

3. Какими преимуществами обладают фольговые тензодатчики проволочными?

Список литературы

1. Информационно-измерительная техника и электроника: Учебник для вузов / Под ред. Г.Г. Раннева.-М.: Академия, 2006.-511с.

2. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: Учебник для студентов вузов. -М.: Академия, 2004.-311с

3. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. пособие для вузов / Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф.Папуловский, В.Н. Скуров: Под ред. Н.Н. Евтихьева. – М.: Энергоатомиздат, 1990.-352 с.

4. Информационно-измерительная техника и технологии. Уч. для вузов / Под ред. Г.Г. Раннева.- М.: Высшая школа, 2002.

5. Дайчик И.Л., Пригоровский Н.И., Хуршудов Г.Х. Методы и средства натурной тензометрии. Справочник.-М.: Машиностроение, 1989.

Дмитриева Ольга Венедиктовна

Исследование тензодатчиков

Методические указания к лабораторной работе
по курсу «Технические измерения и приборы»
для студентов очной и заочной форм обучения специальности 220301.65
«Автоматизация технологических процессов и
производств (в машиностроении)»
и направлений 220400.62 «Управление в технических системах» и
220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Авторская редакция

Подписано к печати 24.12.13	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл. печ. л. 0,75	Уч.-изд. л. 0,75
Заказ 227	Тираж 20	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.